

## ANALISA PENYEBARAN STASIUN HUJAN TERHADAP DEBIT BANJIR RANCANGAN PADA DAS KEDUNGLARANGAN (Kabupaten Pasuruan Jawa Timur)

Eri Prawati<sup>1</sup>, Very Dermawan<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Dosen Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Metro, Jalan Ki Hajar Dewantara No 116 Metro 34111.

<sup>2</sup>Dosen Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya Malang, Jalan MT Haryono Malang 65123.  
[eri.prawati@yahoo.co.id](mailto:eri.prawati@yahoo.co.id).

### Abstrak

Analisa hidrologi merupakan satu bagian analisis awal dalam perancangan bangunan hidrolis. Analisis hidrologi membutuhkan data yang terdiri dari data curah hujan, data debit dan data iklim. Hal ini membutuhkan beberapa jumlah stasiun hujan dan penempatan lokasi stasiun yang tepat. Untuk menetapkan jumlah hujan yang jatuh di dalam suatu DAS, dibutuhkan sejumlah stasiun hujan yang ada pada DAS yang bersangkutan, Ketelitian pengukuran data hujan dipengaruhi oleh jumlah stasiun hujan dan pola penyebaran di dalam DAS. Penempatan stasiun hujan yang tepat, jumlah stasiun hujan, pola penyebaran akan dapat diperoleh data yang akurat mengenai kedalaman, penyebaran dan intensitas hujannya. Kondisi persebaran stasiun hujan di DAS Kedunglarangan tergolong relative banyak, dimana saat ini terdapat 16 stasiun hujan pada wilayah DAS seluas 267,3 km<sup>2</sup>. Menurut standar WMO cukup diwakili oleh 2 stasiun hujan, sedangkan Bleasdale menyarankan 4 stasiun. Varshney menetapkan 8 stasiun sebagai angka yang ideal, kemudian Sugawara menyarankan 10 atau 15 stasiun hujan.

**Kata kunci:** penyebaran, stasiun hujan, debit

### Abstract

Hydrological analysis is a part of the initial analysis in the design of hydraulic buildings. Hydrological analysis requires data consisting of rainfall data, debit data and climate data. This requires a number of rain stations and proper placement of station locations. To determine the amount of rain that falls in a watershed, it takes a number of rain stations in the watershed concerned. Accuracy of the measurement of rain data is influenced by the number of rain stations and the spread pattern in the watershed. Appropriate placement of rain stations, the number of rain stations, the spread pattern will be able to obtain accurate data on the depth, spread and intensity of the rain. The condition of the distribution of rain stations in the watershed is relatively large, where currently there are 16 rain stations in the watershed area covering an area of 267.3 km<sup>2</sup>. According to WMO standards it is sufficiently represented by 2 rain stations, while Bleasdale recommends 4 stations. Varshney sets 8 stations as ideal numbers, then Sugawara suggests 10 or 15 rain stations.

**Keywords :** spread, rain station, debit

## PENDAHULUAN

Analisa hidrologi merupakan bagian dari analisis awal perencanaan bangunan air. Bangunan air dalam hal ini berupa bendung, bangunan pelimpah, tanggul penahan banjir, gorong-gorong dan lain sebagainya. Analisis hidrologi membutuhkan data yang terdiri dari data curah hujan, data debit dan data iklim. Hal ini membutuhkan beberapa jumlah stasiun hujan dan penempatan lokasi hujan yang tepat.

Untuk menetapkan jumlah hujan yang jatuh di dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS), dibutuhkan sejumlah stasiun hujan yang dipasang sedemikian rupa sehingga diperoleh data yang mewakili besaran hujan yang ada pada DAS yang bersangkutan. Ketelitian pengukuran data hujan dipengaruhi oleh jumlah stasiun hujan dan pola penyebaran di dalam DAS. Penempatan stasiun hujan yang tepat, jumlah stasiun hujan, pola penyebarannya akan dapat diperoleh data yang akurat mengenai kedalaman, penyebaran dan intensitas hujannya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan mengenai stasiun hujan adalah (Harto, 1993:20) adalah :

1. Kerapatan optimum mengandung arti jumlah yang mencukupi dan penyebaran yang memadai di seluruh DAS
2. Kerapatan hendaknya tidak terlalu tinggi, karena akan mengakibatkan biaya pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan yang mahal.
3. Penyebaran stasiun hujan mampu menggambarkan variabilitas ruang DAS yang teramati dengan baik.

Untuk mendapatkan kerapatan dan penyebaran stasiun hujan yang optimum di Indonesia tidaklah mudah. Apalagi dengan kondisi topografi di Indonesia berbeda dengan kondisi topografi dimana metode-metode pola penyebaran di rumuskan. Semakin tinggi kerapatan stasiun hujan akan semakin teliti data yang diperoleh, tetapi harus diperhatikan juga biaya yang tidak sedikit untuk pembangunan, pengoperasian, perawatan, pengukuran, pengolahan dan publikasi data serta pengadaan alatnya.

Analisa penyebaran hujan diperlukan untuk mengetahui apakah jumlah stasiun hujan yang ada saat ini dapat mewakili kondisi wilayah lokasi penelitian sehingga dapat mengoptimalkan jumlah stasiun hujan yang bertujuan untuk menjadi pertimbangan

pengambilan keputusan bagi instansi guna efisiensi biaya, tenaga dan waktu. Sehingga diperlukan rasionalisasi jaringan stasiun hujan yang optimal dan efisien baik dari segi ekonomis maupun pengelolaan supaya dapat diketahui stasiun hujan mana yang bersifat dominan dan representatif pada DAS Kedunglarangan.

DAS Kedunglarangan adalah salah satu DAS besar yang berada di Kabupaten Pasuruan. Informasi kondisi hidrologi diperlukan untuk mendukung pengelolaan sumber daya air dalam suatu DAS. Hidrologi juga mempelajari perilaku hujan terutama meliputi periode ulang curah hujan karena berkaitan dengan perhitungan banjir serta rencana untuk bangunan air. Hal ini tidak terlepas dari pentingnya jumlah stasiun hujan yang ideal serta penempatan lokasi stasiun yang dapat mewakili sebagai representasi karakteristik suatu DAS.

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut

1. Bagaimana kondisi eksisting yang ada di DAS Kedunglarangan ?
2. Bagaimana jaringan stasiun hujan berdasarkan metode Kagan-Rodda yang ada pada DAS Kedunglarangan ?
3. Berapakah besarnya debit banjir rancangan yang terjadi berdasarkan metode Kagan-Rodda pada DAS Kedunglarangan ?

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui kondisi eksisting yang ada pada DAS Kedunglarangan
2. Mengetahui jaringan stasiun hujan berdasarkan metode Kagan-Rodda yang ada pada DAS Kedunglarangan.
3. Mengetahui besarnya debit banjir rancangan yang terjadi berdasarkan metode Kagan-Rodda pada DAS Kedunglarangan.

Manfaat dari penelitian ini berupa masukan kepada instansi terkait mengenai jaringan stasiun hujan yang paling efektif di DAS Kedunglarangan. Kemudian adanya kajian penyebaran stasiun hujan terhadap debit banjir rancangan diharapkan menjadi temuan baru yang memberikan kemudahan dalam analisis debit banjir rancangan pada masa yang akan datang.

Jaringan dalam pengertian ini adalah satu sistem yang terorganisasi untuk mengumpulkan data hidrologi secara optimum untuk berbagai kepentingan. Unsur yang hendak dicapai dalam suatu jaringan stasiun hujan adalah kerapatan jaringan yang optimum serta perolehan informasi yang maksimum, sehingga dari hasil pengukuran satu set stasiun dapat diperoleh besaran variabel hidrologi di semua titik dengan ketelitian yang cukup.

Dalam proses pengembangan jaringan, perlu diperhatikan bahwa tingkat keterikatan antar stasiun merupakan dasar perencanaan jaringan. Hubungan dan keterikatan tersebut hanya dapat diuji apabila terdapat data hasil pengukuran. Oleh sebab itu, dengan mengandaikan bahwa jaringan yang dimaksudkan belum pernah ada dalam daerah yang ditinjau maka perencanaan harus dimulai dengan satu jaringan sembarang yang dipasang dengan tingkat kewajaran yang ada, baik jumlah maupun penempatannya (Harto, 1990:27).

## Analisis Data Hujan

### Curah Hujan Rerata Daerah

Pengukuran tinggi hujan pada satu stasiun hujan merupakan pengukuran pada titik tersebut saja. Untuk mendapatkan nilai curah hujan dalam satu areal yang luas (dalam suatu DAS), maka kita bisa menggunakan beberapa stasiun hujan. Curah hujan daerah merupakan nilai rerata dari pengukuran beberapa stasiun hujan yang berada di dalam atau di sekitar kawasan DAS tersebut.

Cara yang bisa kita gunakan untuk menghitung curah hujan daerah dari beberapa stasiun hujan, yaitu (Soemarto, 1999:10):

### 1. Cara Tinggi Rata-Rata

Tinggi rata-rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut.

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}$$

dimana:

$d$  = tinggi curah hujan rata-rata

$d_1, d_2, \dots, d_n$  = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, ..., n

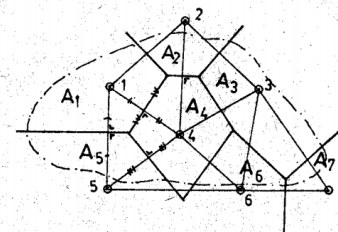
$n$  = banyaknya pos penakar

Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya

ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal.

### 2. Cara Poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.



Gambar 1. Poligon thiessen  
Sumber: Soemarto (1987:10)

Misalnya  $A_1$  adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1,  $A_2$  luas daerah pengaruh pos penakar 2, dan seterusnya. Jumlah  $A_1 + A_2 + \dots + A_n = A$  adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari tinggi curah hujan rata-ratanya. Jika pos penakar 1 menakar tinggi hujan  $d_1$ , pos penakar 2 menakar  $d_2$ , dan pos penakar  $n$  menakar  $d_n$ , maka

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A} d_i$$

Jika  $\frac{A_i}{A} = p_i$  merupakan persentase luas pada pos  $i$  yang jumlahnya untuk seluruh luas adalah 100%, maka

$$d = \sum_{i=1}^n p_i d_i$$

dimana:

$A$  = luas areal

$d$  = tinggi curah hujan rata-rata areal

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  = tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..., n

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  = luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..., n

$$\sum_{i=1}^n p_i = \text{jumlah persentase luas} = 100\%$$

Hasil perhitungan menggunakan metode poligon thiessen memberikan ketelitian yang

lebih tinggi dibandingkan metode rata-rata aljabar.

### Analisis Frekwensi

Analisis frekuensi bukan untuk menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat, tetapi lebih tepat untuk memperkirakan apakah debit aliran sungai tersebut akan melampaui atau menyamai suatu harga tertentu misalnya untuk 10 tahun, 20 tahun dan seterusnya yang akan datang.

### Distribusi Log-Pearson III

Parameter-parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Pearson Type III adalah : rata-rata, penyimpangan baku (*standart deviasi*), koefisien kepengcengan. Prosedur perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Mengubah data debit banjir tahunan sebanyak  $n$  buah  $X_1, X_2, \dots, X_n$  menjadi  $\log X_1, \log X_2, \dots, \log X_n$ .

2. Menghitung harga rata-rata (*mean*) :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$$

3. Menghitung harga penyimpangan baku (*Standart Deviasi*) ( $S_d$ ) :

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n-1}}$$

4. Menghitung koefisien Kepengcengan ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{n-1}$$

5. Hujan rancangan dengan kala ulang tertentu :

$$\log X = \overline{\log X} + K \cdot S_d$$

6. Debit banjir rancangan dengan kala ulang tertentu didapat dengan menghitung antilog dari  $Q_t$ .

### Uji Kesesuaian Frekuensi

Uji kesesuaian frekuensi dimaksudkan untuk mengetahui suatu kebenaran hipotesa dalam hal ini hipotesa distribusi frekuensi Log Pearson III. Karena setiap hipotesa dapat diterima atau ditolak, sehingga dengan uji kesesuaian tersebut akan dapat diketahui :

- Kesesuaian antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis.
- Kebenaran hipotesa, diterima atau ditolak.

Uji kesesuaian frekuensi yang digunakan adalah uji Smirnov Kolmogorov dan Kai Kuadrat (*Chi-Square*) yaitu sebagai berikut :

### 1. Uji Smirnov Kolmogorov

Pengujian ini dilakukan dengan menggambarkan probabilitas untuk tiap data, yaitu dari perbedaan distribusi empiris dan distribusi teoritis yang disebut  $\Delta$  maks. Dalam bentuk persamaan dapat ditulis (Harto, 1983:180) :

$$\Delta_{maks} = |P(T) - P(E)|$$

dimana :

$\Delta_{maks}$  = Selisih antara peluang teoritis dengan peluang empiris

$\Delta_{cr}$  = Simpangan kritis (dari tabel)

$P(T)$  = Peluang teoritis

$P(E)$  = Peluang empiris

### 2. Uji Kai Kuadrat

Uji kai kuadrat dilakukan untuk menguji simpangan secara vertical, yang ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$$

dimana :

$X^2$  = Harga chi-square hasil perhitungan

$Ef$  = Frekwensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

$Of$  = Frekwensi yang diamati pada kelas yang sama.

Untuk derajat nyata tertentu yang diambil adalah 5%, derajat kebebasan ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$Dk = k - (P + 1)13$$

$$k = 1 + 3,22 \log n$$

dimana :

$Dk$  = Derajat kebebasan

$P$  = Banyaknya parameter sebaran kai-kuadrat

$k$  = Jumlah kelas distribusi

$n$  = Banyaknya data

Sebaran distribusi frekuensi Log Pearson Type III dapat diterima :

- Apabila  $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$ , pada uji Smirnov-Kolmogorov
- Apabila  $X^2 < X^2_{cr}$ , pada uji Chi-Square

### Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan

Kerapatan jaringan dapat diartikan sebagai luasan daerah yang diwakili oleh setiap stasiun hujan. Kerapatan jaringan didasarkan pada aspek teknis dan ekonomi di wilayah yang bersangkutan, agar tercapai kerapatan jaringan yang optimum sesuai dengan nilai sosial ekonomi data atau tingkat ketelitian yang

dibutuhkan. Setiap jaringan stasiun hujan yang sudah ada perlu dikaji kembali secara rutin setiap periode pengoperasian untuk meningkatkan kualitasnya.

### Badan Meteorologi Dunia atau *World Meteorological Organization* (WMO)

Tabel 1. Kerapatan Jaringan WMO

No.	Tipe Daerah	Luas Daerah (Km <sup>2</sup> ) per stasiun hujan
1	Daerah dataran tropis mediteran dan sedang	600 – 900
2	Daerah pegunungan tropis miditeran dan sedang	100 – 250
3	Daerah kepulauan kecil bergunung dengan curah hujan bervariasi	25
4	Daerah arid (kering) dan kutub	1500 – 10000

Sumber: Linsley (1986:67)

### Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) atau yang biasa disingkat JST adalah sistem komputasi dimana arsitektur dan operasi diilhami dari pengetahuan tentang sel saraf biologis di dalam otak, yang merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba menstimulasi proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Secara sederhana, JST merupakan sebuah metode baru yang memodelkan jaringan saraf otak dalam bentuk aplikasi sehingga memudahkan manusia untuk menyelesaikan pekerjaannya karena JST ini berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang mampu belajar lewat data-data masukan. Pemodelan saraf ini ditunjukkan lewat kemampuan melakukan emulasi, analisis, prediksi, serta asosiasi (Hermawan, 2006:37).

Analisis pemodelan debit dilakukan dengan Metode JST dengan bantuan *NeuroSolution for Excel*. Metode yang digunakan dalam proses pelatihan adalah *Levenberg- Marquardt* (LM).

### Kesalahan Relatif

Kesalahan relatif digunakan untuk menghitung prosentase kesalahan relatif jaringan stasiun hujan yang dimodelkan terhadap jaringan stasiun hujan yang sudah ada.

Perhitungan kesalahan relatif dilakukan dengan rumus berikut (Sugiyono, 2017):

$$K_r = \left| \frac{X_a - X_b}{X_a} \right|$$

dengan :

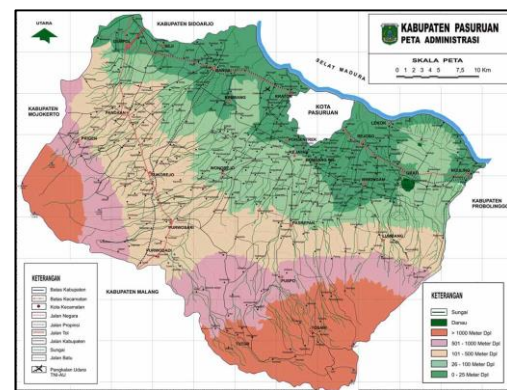
$K_r$  = kesalahan relatif (%)

$X_a$  = nilai asli

$X_b$  = aproksimasi/pemodelan

### METODE PENELITIAN

Kabupaten Pasuruan merupakan Daerah Tingkat II yang berada pada posisi cukup strategis, yaitu jalur regional dan utama perekonomian Surabaya-Malang dan Surabaya-Banyuwangi. Hal tersebut menguntungkan dalam pengembangan ekonomi dan membuka peluang investasi di Kabupaten Pasuruan.



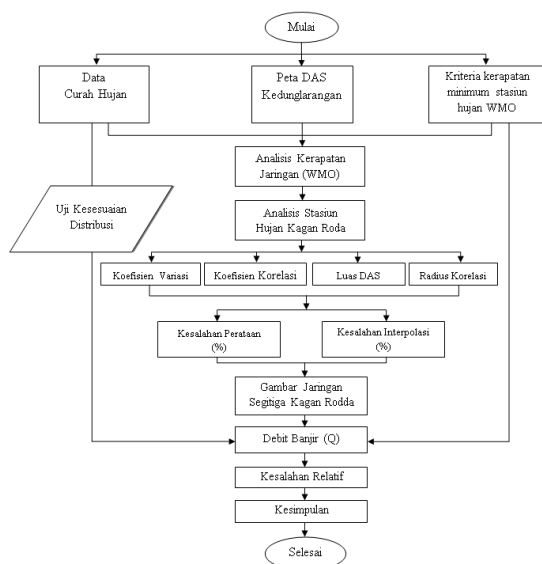
Gambar 2. Peta administrasi Kabupaten Pasuruan

### Tahapan Studi

Tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Data-data yang diperlukan
  - a. Data curah hujan bulanan
  - b. Data debit bulanan Pos Duga Air
2. Uji konsistensi dengan metode kurva massa ganda
3. Analisis hujan rata-rata harian maksimum DAS dengan 2 metode rata-rata hitung dan Poligon Thiessen.
4. Analisis distribusi frekuensi dengan metode Log Pearson Tipe III kemudian diuji kesesuaian distribusi dengan Uji Smirnov-Kolmogorov dan Chi Square.
5. Menghitung koefisiensi korelasi dan membuat grafik hubungan antara jarak dengan nilai korelasi antar stasiun hujan, kemudian menentukan persamaan garis  $r(o)$  dan  $d(o)$  dari persamaan regresi yang didapat.

6. Menentukan jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan dengan syarat perataan ( $Z_1$ ) = 5% dan panjang sisi jaring Kagan-Rodda.
7. Mengeplot jaringan Kagan Rodda di atas pada peta DAS dan memilih stasiun yang terdekat dengan titik simpul kagan.
8. Apabila stasiun telah terpilih, kemudian menghitung curah hujan rata-rata harian maksimum jaringan Kagan Rodda dengan 2 metode, yaitu Rata-rata Hujan dan Poligon Thiessen.
9. Kemudian menghitung analisa frekuensi dan menguji kesesuaian distribusinya sesuai dengan yang dikerjakan pada langkah sesuai pada kondisi eksisting.
10. Menghitung curah hujan rancangan untuk jaringan Kagan-Rodda dengan metode Log Pearson Tipe III.
11. Menghitung kesalahan relatif curah hujan rancangan kondisi eksisting dengan curah hujan rancangan Kagan Rodda.
12. Menentukan curah hujan jam-jaman berdasarkan koefisien pengaliran yang ada.
13. Menghitung debit banjir rancangan dengan menggunakan metode hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu.



Gambar 3. Diagram alir Pelaksanaan Jaringan Kagan-Rodda

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data curah hujan yang digunakan yaitu data curah hujan yang berasal dari 16 stasiun hujan di DAS Kedunglarangan. Semua data yang ada pada 16 stasiun hujan tercatat oleh Dinas Tata Ruang dan Sumber Daya Air Kabupaten Pasuruan.

Tabel 2. Data Stasiun Hujan Pada DAS Kedunglarangan

No	Stasiun	Lokasi		Koordinat		Elevasi (mdpl)
	Hujan	Desa	Kecamatan	B. Timur	L. Selatan	
1	Gempol	Winong	Gempol	112° 42' 18.34"	07° 34' 50.67"	36
2	Winong	Sumber Gadang	Pandaan	112° 40' 28.75"	07° 38' 42.37"	212
3	Jembrung	Jembrung	Gempol	112° 41' 17.69"	07° 35' 32.17"	55
4	Banyulegi	Gunung Gangsir	Beji	112° 43' 17.03"	07° 35' 06.89"	43
5	Kepulungan	Kepulungan	Gempol	112° 41' 06.38"	07° 37' 02.04"	109
6	Bareng	Tawangrejo	Pandaan	112° 41' 11.92"	07° 38' 17.48"	162
7	Randupitu	Randupitu	Gempol	112° 42' 22.21"	07° 37' 36.38"	127
8	Tanggul	Baujeng	Beji	112° 43' 31.64"	07° 37' 51.09"	115
9	Jawi	Gambiran	Prigen	112° 39' 22.80"	07° 40' 34.48"	405
10	Kasri	Petungasri	Pandaan	112° 41' 17.61"	07° 39' 06.59"	208
11	Wilo	Ketan Ireng	Prigen	112° 41' 22.06"	07° 40' 51.86"	265
12	Prigen	Prigen	Prigen	112° 37' 36.87"	07° 41' 49.77"	847
13	Telebuk	Mojotengah	Sukorejo	112° 43' 19.97"	07° 41' 44.74"	197
14	Bangil	Kidul Dalem	Bangil	112° 46' 50.25"	07° 36' 01.88"	23
15	Badong	Mojoparon	Rembang	112° 48' 28.47"	07° 36' 49.15"	19
16	Bekacak	Kolursari	Bangil	112° 46' 13.42"	07° 37' 11.76"	40

Sumber : Dinas Tata Ruang dan Sumber Daya Air Kab. Pasuruan (2016)

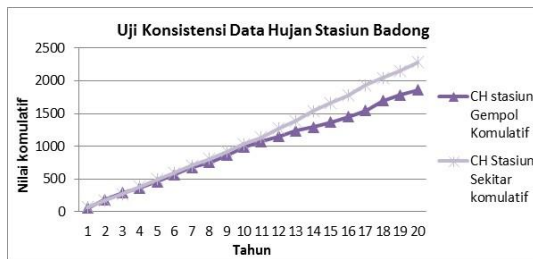
## Uji Konsistensi Data Hujan

Uji konsistensi data dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran data lapangan. Untuk mengetahui konsistensi dari tiap data hujan, maka pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan analisa kurva massa ganda dimulai dari tahun terakhir.

Tabel 3. Uji Konsistensi Stasiun Badong Terhadap Stasiun Sekitar

Tahun	CH stasiun Badong		CH Stasiun Sekitar	
	CH Blnan	Kumulatif	Rerata	kumulatif
1997	60	60	68.40	68.40
1998	87	147	97.60	166.00
1999	74	221	96.73	262.73
2000	112	333	112.80	375.53
2001	127	460	107.93	483.47
2002	116	576	106.00	589.47
2003	93	669	107.33	696.80
2004	83	752	102.53	799.33
2005	91	843	110.00	909.33
2006	84	927	120.00	1029.33
2007	100	1027	102.20	1131.53
2008	109	1136	132.87	1264.40
2009	85	1221	116.07	1380.47
2010	135	1356	144.47	1524.93
2011	98	1454	121.20	1646.13
2012	114	1568	116.40	1762.53
2013	187	1755	145.67	1908.20
2014	161	1916	111.27	2019.47
2015	118	2034	109.73	2129.20
2016	135	2169	121.47	2250.67

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4. Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Badong

Data hasil pengujian data kurva terlihat konsisten artinya tidak terjadi perubahan lengkung.

### Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah

Perhitungan curah hujan rerata daerah menggunakan metode Poligon Thiessen.

Tabel 4. Faktor Koreksi Luas Pengaruh Poligon Thiessen

No	Stasiun	Luas (KM <sup>2</sup> )	Koef. Thiessen
1	Badong	40.3	0.151
2	Bangil	24.2	0.091
3	Banyulegi	17.7	0.066
4	Bareng	3.5	0.013
5	Bekacak	40.8	0.153
6	Gempol	3.2	0.012
7	Jawi	11.1	0.042
8	Jembrung	3.6	0.013
9	Kasri	9.2	0.034
10	Kepulungan	4.5	0.017
11	Prigen	36.9	0.138
12	Randupitu	8.1	0.030
13	Tanggul	23.8	0.089
14	Telebuk	20.3	0.076
15	Wilo	18.5	0.069
16	Winong	1.6	0.006
Σ		267.30	

Sumber: Hasil Perhitungan

### Analisa Curah Hujan Rancangan Distribusi Frekuensi Log Person III

Penelitian ini menggunakan metode Log Person Tipe III karena metode tersebut dapat digunakan untuk semua sebaran data yang mana harga skewnes (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck) bebas. Berikut ini hasil perhitungan hubungan Cs dan G serta perhitungan curah hujan

rancangan Log Perso Tipe III Kondisi Eksisting :

Tabel 5. Standar Deviasi dan Kemencengan

No.	Tahun	Debit (Q)	Log Q	Log Q - Log Qrerata	(Log Q - Log Qrerata) <sup>2</sup>	(Log Q - Log Qrerata) <sup>3</sup>
1	1997	75.06	1.875	-0.190	0.036271	-0.00691
2	1998	113.61	2.055	-0.010	0.000109	0.00000
3	1999	94.91	1.977	-0.089	0.007843	-0.00069
4	2000	106.86	2.029	-0.037	0.001374	-0.00005
5	2001	112.22	2.050	-0.016	0.000250	0
6	2002	109.97	2.041	-0.025	0.000606	0
7	2003	106.45	2.027	-0.039	0	0
8	2004	108.88	2.037	-0.029	0.000837	-0.00002
9	2005	110.92	2.045	-0.021	0.000436	0
10	2006	121.16	2.083	0.017	0.000305	0
11	2007	108.53	2.036	-0.030	0.000919	-0.00003
12	2008	139.75	2.145	0.079	0.006317	0.00050
13	2009	120.90	2.082	0.017	0.000274	0
14	2010	149.56	2.175	0.109	0.011865	0.00129
15	2011	140.68	2.148	0.082	0.006782	0
16	2012	123.12	2.090	0.024	0.000597	0.00001
17	2013	142.09	2.153	0.087	0.007513	0.00065
18	2014	127.03	2.104	0.038	0.001446	0
19	2015	117.56	2.070	0.004	0.000019	0
20	2016	123.99	2.093	0.028	0.000757	0.00002
Jumlah			41.648			
Rerata			2.082		0.004	-0.00023
Standar Deviasi					0.067	
CS					-0.900	

Sumber: Hasil Perhitungan

Data yang Diketahui :

Log Qrerata = 2.082

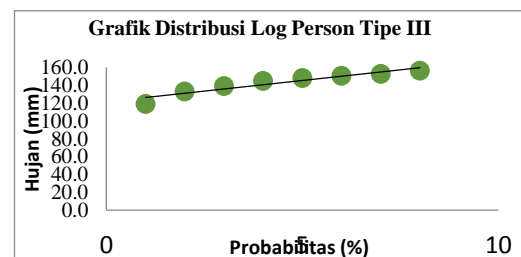
Sd = 0.067

Cs = -0.900

Tabel 6. Curah Hujan Rancangan Log Pearson Tipe III Kondisi Eksisting

Tr	Pr (%)	G	Log Q	Qrancangan (m3/dt)
2	50	0.148	2.076	119.079
5	20	0.856	2.123	132.884
10	10	1.149	2.143	139.056
25	4	1.348	2.157	143.410
50	2	1.549	2.170	147.947
100	1	1.658	2.177	150.467
200	0.5	1.747	2.183	152.557
1000	0.1	1.900	2.194	156.217

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 5. Grafik Distribusi Log Pearson III



**Uji Kesesuaian Distribusi****Uji Smirnov-Kolmogorov**

Tabel 7. Uji Kesesuaian Distribusi Smirnov-Kolmogorov

No	Xi (m <sup>3</sup> /det)	P (E) (%)	Log Qi	G	PR	P (T) (%)	{P(T)-P(E)} (%)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1	75.06	4.76	1.875	-2.762	1.280	-0.280	-5.04
2	96.69	9.52	1.985	-1.012	0.776	0.224	-9.30
3	101.31	14.29	2.006	-0.689	0.683	0.317	-13.97
4	102.06	19.05	2.009	-0.638	0.668	0.332	-18.72
5	103.31	23.81	2.014	-0.554	0.644	0.356	-23.45
6	106.44	28.57	2.027	-0.348	0.584	0.416	-28.16
7	106.63	33.33	2.028	-0.336	0.581	0.419	-32.91
8	108.81	38.10	2.037	-0.195	0.541	0.459	-37.64
9	109.13	42.86	2.038	-0.175	0.535	0.465	-42.39
10	110.25	47.62	2.042	-0.104	0.514	0.486	-47.13
11	112.75	52.38	2.052	0.051	0.470	0.530	-51.85
12	114.13	57.14	2.057	0.134	0.446	0.554	-56.59
13	114.38	61.90	2.058	0.149	0.441	0.559	-61.35
14	116.25	66.67	2.065	0.262	0.409	0.591	-66.08
15	117.75	71.43	2.071	0.351	0.383	0.617	-70.81
16	119.75	76.19	2.078	0.467	0.350	0.650	-75.54
17	122.31	80.95	2.087	0.613	0.308	0.692	-80.26
18	131.38	85.71	2.119	1.108	0.165	0.835	-84.88
19	143.88	90.48	2.158	1.736	-0.016	1.016	-89.46
20	148.25	95.24	2.171	1.943	-0.075	1.075	-94.16
Jumlah			40.9788			D Max =	-5.04
Rerata (Log x)			2.0489			n	20
Std. Dev(SlogX)			0.0628				
Cs			-0.5052				

Sumber: Hasil Perhitungan

Uji Smirnov Kolmogorov	a	Dkritis	Dmax	Ket
Nilai d kritis uji Smirnov kolmogorov pada n =20	0.2	0.23	-5.04	diterima
	0.1	0.26	-5.04	diterima
	0.05	0.29	-5.04	diterima
	0.01	0.36	-5.04	diterima

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel di atas dapat diketahui nilai Dmax < Dkritis sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pemilihan distribusi frekuensi Log Person Tipe III dapat diterapkan.

**Uji Chi Square**

Tabel 8. Batas Kelas Uji Chi Square

No.	Pr (%)	Log Xrerata	Cs	G	Sd	Log X	X
1	2.0	2.066	-0.900	0.148	0.067	2.076	119.079
2	4.0	2.066	-0.900	-0.130	0.067	2.057	114.059
3	6.0	2.066	-0.900	-0.572	0.067	2.027	106.510
4	8.0	2.066	-0.900	-0.769	0.067	2.014	103.308

Sumber:Perhitungan

Tabel 9. Uji Chi Square

kelas	Probability (%)	Expected Frekuensi (Ef)	Observed Frekuensi (Of)	(Of- Ef) <sup>2</sup> /Ef
1	0-103.308	4	4	0
2	103.308 - 106.510	4	2	1
3	106.510 - 114.059	4	5	0.25
4	114.059- 119.079	4	4	0
5	119.079 - ∞	4	5	0.25
Jumlah		20	20	1.5

Sumber: Perhitungan

**Debit Banjir Rancangan**

Penelitian ini untuk mencari besarnya nilai debit banjir rancangan menggunakan metode hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu.

**Distribusi Hujan Jam-jaman**

Di Indonesia hujan terpusat tidak lebih dari 7 jam, maka dalam perhitungan ini diasumsikan hujan terpusat maksimum 6 jam sehari. Sebaran hujan jam-jaman dihitung rumus Mononobe:

$$R_t = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

dengan:

$R_t$  = intensitas hujan rerata dalam t jam (mm/jam)

$R_{24}$  = curah hujan efektif dalam 1 hari

t = waktu hujan berdasarkan persamaan tersebut didapatkan hasil rasio sebaran hujan dan distribusi hujan selama 6 jam seperti berikut ini :

Tabel 10. Distribusi Hujan Jam-Jaman

No	Jam ke	Rasio	Hujan Jam-jaman (mm)							
			2	5	10	25	50	100	200	1000
1	1.000	0.550	52.425	58.485	61.201	63.717	65.134	66.284	67.184	68.775
2	2.000	0.143	13.636	15.202	15.908	16.561	16.990	17.223	17.463	17.876
3	3.000	0.100	9.559	10.664	11.159	11.617	11.876	12.082	12.230	12.540
4	4.000	0.080	7.610	8.489	8.883	9.249	9.454	9.618	9.752	9.983
5	5.000	0.067	6.426	7.169	7.502	7.810	7.984	8.122	8.235	8.430
6	6.000	0.059	5.617	6.266	6.557	6.827	6.979	7.100	7.198	7.369
HUJAN RANCANGAN (mm)			119.079	132.843	139.013	144.727	147.946	150.512	152.602	156.217
KOEFISIEN PENGALIRAN			0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
HUJAN EFEKTIF (mm)			95.263	106.275	111.210	115.781	118.357	120.410	122.082	124.973

**Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu**

Dari tabel distribusi jam jaman, perhitungan hidrograf satuan sintetis Nakayasu dapat dilanjutkan dengan parameter sebagai berikut:

1. Luas DAS ( A ) = 267.3 km<sup>2</sup>
2. Panjang Sungai Utama ( L ) = 15 km
3. Parameter Alfa ( a ) = 2
4. Koefisien Pengaliran ( C ) = 0.800
5. Hujan satuan (R<sub>0</sub>) = 1 mm

Perhitungan:

1. Mencari debit puncak  $t_g = 0.4 + 0.058 L = 1.270$
2. Waktu regresi (Tr)  
 $Tr = 0.75 \times t_g = 1.0 \text{ jam}$
3. Tengang waktu permulaan hujan sampai puncak banjir  
 $T_p = t_g + (0,8 \times tr) = 2.0 \text{ jam}$



4. Penurunan debit sampai menjadi 30% dari puncak ( $T_{0,3}$ )  
 $T_{0,3} = a * t_g = 2.5 \text{ jam}$   
 $1.5 * T_{0,3} = 3.81 \text{ jam}$   
 $2 * T_{0,3} = 5.08 \text{ jam}$

$$Q_p = \frac{(CA \times R_o)}{(3,6 \times ((0,3 * T_p) + T_{0,3}))} = 18.86 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Tabel 11. Ordinat Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

T (jam)	Q (m <sup>3</sup> /dt/mm)	Keterangan
0.00	0.000	Qa
1.00	3.440	
2.00	18.155	
3.00	48.040	
4.00	95.820	
5.00	163.698	
6.00	253.558	Qp
7.00	0.683	Qd1
8.00	0.425	
9.00	0.265	
10.00	0.165	
11.00	0.103	
12.00	0.064	
13.00	0.040	
14.00	0.151	Qd2
15.00	0.110	
16.00	0.080	
17.00	0.059	
18.00	0.043	
19.00	0.031	
20.00	0.023	
21.00	0.017	
22.00	0.012	
23.00	0.009	
24.00	0.026	Qd3
25.00	0.033	
26.00	0.026	
27.00	0.021	
28.00	0.016	
29.00	0.013	
30.00	0.010	
31.00	0.008	
32.00	0.006	
33.00	0.005	
34.00	0.004	
35.00	0.003	
36.00	0.002	
37.00	0.002	
38.00	0.002	
39.00	0.001	
40.00	0.001	
41.00	0.001	
42.00	0.001	
43.00	0.000	
44.00	0.000	
45.00	0.000	
46.00	0.000	
47.00	0.000	
48.00	0.000	

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Hidrograf Debit Banjir Rancangan dengan Menggunakan Metode Nakayasu

Waktu (jam)	Debit Banjir Rancangan (m <sup>3</sup> /dt)							
	2 th	5 th	10 th	25 th	50 th	100 th	200 th	1000 th
0.00	16.091	16.091	16.091	16.091	16.091	16.091	16.091	16.091
1.00	196.416	217.260	226.602	235.236	240.131	244.017	247.182	252.655
2.00	1215.234	1353.842	1415.969	1473.511	1505.931	1531.774	1552.819	1589.214
3.00	3648.434	4068.295	4256.486	4408.752	4528.989	4607.272	4671.018	4781.266
4.00	7990.271	8912.003	9325.143	9663.842	9923.378	10095.233	10235.178	10477.207
5.00	14690.931	16387.189	17147.490	17776.592	18248.418	18564.683	18822.222	19267.627
6.00	24170.817	26962.851	28214.303	29257.090	30026.426	30546.996	30970.905	31704.040
7.00	811.72	88.695	92.067	94.876	96.949	98.352	99.494	101.469
8.00	56.604	61.287	63.386	65.135	66.426	67.299	68.010	69.239
9.00	41.311	44.226	45.533	46.621	47.425	47.968	48.411	49.176
10.00	31.791	33.605	34.419	35.096	35.596	35.935	36.210	36.687
11.00	25.864	26.994	27.500	27.922	28.233	28.444	28.616	28.912
12.00	22.175	22.878	23.193	23.456	23.650	23.781	23.888	24.072
13.00	19.879	20.316	20.512	20.676	20.797	20.878	20.945	21.060
14.00	30.507	32.173	32.920	33.542	34.001	34.312	34.565	35.003
15.00	26.601	27.816	28.360	28.814	29.149	29.375	29.560	29.879
16.00	23.754	24.639	25.036	25.367	25.611	25.776	25.911	26.143
17.00	21.678	22.323	22.613	22.854	23.052	23.152	23.250	23.420
18.00	20.164	20.635	20.846	21.022	21.151	21.239	21.311	21.434
19.00	19.061	19.404	19.558	19.686	19.780	19.844	19.896	19.987
20.00	18.256	18.508	18.618	18.712	18.781	18.828	18.866	18.931
21.00	17.670	17.852	17.984	18.002	18.052	18.086	18.114	18.162
22.00	17.242	17.375	17.485	17.484	17.521	17.546	17.566	17.601
23.00	16.930	17.027	17.071	17.107	17.134	17.152	17.166	17.192
24.00	18.558	18.843	18.970	19.077	19.155	19.208	19.252	19.327
25.00	19.241	19.605	19.768	19.904	20.004	20.072	20.127	20.223
26.00	18.576	18.864	18.992	19.100	19.179	19.232	19.276	19.351
27.00	18.023	18.279	18.380	18.465	18.527	18.569	18.604	18.663
28.00	17.608	17.817	17.897	17.964	18.013	18.047	18.074	18.121
29.00	17.312	17.453	17.516	17.569	17.608	17.634	17.655	17.682
30.00	17.054	17.166	17.216	17.257	17.288	17.309	17.325	17.355
31.00	16.831	16.939	16.978	17.011	17.035	17.052	17.065	17.088
32.00	16.691	16.760	16.791	16.817	16.836	16.849	16.860	16.878
33.00	16.564	16.619	16.644	16.664	16.679	16.689	16.698	16.712
34.00	16.463	16.508	16.527	16.543	16.555	16.563	16.570	16.581
35.00	16.386	16.420	16.435	16.448	16.457	16.464	16.469	16.478
36.00	16.324	16.351	16.369	16.378	16.380	16.385	16.389	16.396
37.00	16.275	16.296	16.305	16.313	16.319	16.323	16.326	16.332
38.00	16.236	16.253	16.260	16.266	16.271	16.274	16.277	16.281
39.00	16.206	16.219	16.225	16.230	16.233	16.236	16.238	16.241
40.00	16.181	16.192	16.197	16.200	16.203	16.205	16.207	16.210
41.00	16.162	16.171	16.174	16.177	16.180	16.181	16.182	16.185
42.00	16.147	16.154	16.157	16.159	16.161	16.162	16.163	16.165
43.00	16.136	16.141	16.143	16.145	16.146	16.147	16.148	16.149
44.00	16.126	16.130	16.132	16.134	16.135	16.136	16.136	16.137
45.00	16.119	16.122	16.124	16.125	16.126	16.126	16.127	16.128
46.00	16.113	16.116	16.117	16.118	16.118	16.119	16.119	16.120
47.00	16.109	16.111	16.111	16.112	16.113	16.113	16.113	16.114
48.00	16.105	16.107	16.107	16.108	16.108	16.109	16.109	16.109
Qmaksimum	24170.817	26962.851	28214.303	29257.090	30026.426	30546.996	30970.905	31704.040

Tabel 13. Kombinasi Jaringan Stasiun JST

No	Eliminasi Stasiun	Jumlah Stasiun	Jumlah Kombinasi
1	1	8	9
2	2	7	36
3	3	6	84
4	4	5	126
5	5	4	126
6	6	3	84
7	7	2	36
8	8	1	9
Total			510

Sumber: Hasil Perhitungan

Apabila menggunakan JST, maka ada 510 buah kombinasi jaringan yang harus dianalisis. Nilai ini dianggap terlalu banyak sehingga diperlukan cara lain.

#### a. Kombinasi Jaringan Stasiun Hujan

##### Menggunakan Metode Lain

Metode kerapatan jaringan dapat digunakan sebagai alternatif kombinasi.

Tabel 14. Rekapitulasi Kerapatan Jaringan

No	Standar	Pendekatan	Jumlah Stasiun
1	WMO	Empiris	2
2	Sugawara	Empiris	10 / 15
3	Bleasdale	Empiris	4
4	Varshney	Statistik	8

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Secara umum, semua metode menunjukkan hasil relatif sama, yaitu pengurangan stasiun hujan, kecuali Sugawara. Cara sugawara dianggap kurang sesuai karena tidak memperhatikan luas. Kesimpulan yang didapatkan adalah bahwa pada saat ini jaringan stasiun hujan di Sub DAS Kadalpang sudah mencapai fase "*Network Phase 3*" atau "*Reduction Phase*", dimana informasi yang tersedia sudah berlebihan sehingga hanya mempertinggi biaya operasional.

Metode Bleasdale dianggap paling sesuai, karena ideal dan lebih praktis, serta aplikatif untuk diterapkan. Menggunakan metode Bleasdale sebagai batas bawah (4 stasiun), maka terdapat 381 jaringan yang dapat dianalisis.

Tabel 15. Kombinasi Jaringan Stasiun Baru

No	Eliminasi Stasiun	Jumlah Stasiun	Jumlah Kombinasi
1	1	8	9
2	2	7	36
3	3	6	84
4	4	5	126
5	5	4	126
Total			381

Sumber: Hasil Perhitungan,

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan maka disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kondisi persebaran stasiun hujan di DAS Kedunglarangan tergolong relatif banyak, dimana saat ini terdapat 16 stasiun hujan pada wilayah DAS seluas 267,3 Km<sup>2</sup>. Menurut standar WMO, cukup diwakili oleh 2 stasiun saja, sedangkan Bleasdale menyarankan 4 stasiun. Varshney menetapkan jumlah 8 stasiun sebagai angka yang ideal, kemudian Sugawara menyarankan 10 atau 15 buah stasiun.
2. Jaringan saraf tiruan menawarkan alternatif pemilihan jaringan stasiun hujan yang baru dengan mencoba-coba setiap kombinasi jaringan stasiun yang bisa dibentuk, kemudian memodelkan debit sungainya lalu dibandingkan dengan data asli. Dengan metode kerapatan jaringan yang ada, maka kombinasi stasiun yang baru dibatasi dari 4 hingga 8 stasiun saja, dengan total kombinasi sebanyak 381 buah.
3. Hubungan yang paling kuat antara aspek topografi terhadap curah hujan adalah beda tinggi terhadap curah hujan ( $R = 0,918$ ), dimana semakin tinggi elevasi stasiun hujan (semakin besar beda tinggi terhadap AWLR), maka curah hujannya juga akan bernilai semakin tinggi.

### Saran

1. Kondisi jaringan stasiun hujan yang ada pada saat ini dinilai berlebihan dan kurang efektif, sehingga stasiun yang dianggap kurang mewakili dapat dipindahkan ke titik lain di DAS Kedunglarangan atau bisa juga dipindahkan ke DAS lain yang kerapatan jaringannya masih rendah di wilayah Pasuruan (masih dalam wilayah kerja Dinas Kabupaten Pasuruan).
2. Analisis JST belum banyak digunakan dalam analisis jaringan stasiun hujan, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan ketelitiannya. Meski demikian, metode JST dirasa menyita waktu yang cukup banyak apabila studi yang dilakukan mencakup banyak sekali stasiun hujan, sehingga mungkin lebih cocok dan hanya sesuai digunakan untuk DAS kecil dengan stasiun yang tidak terlalu banyak.

3. Pada prakteknya, hubungan terjadinya debit yang berasal dari hujan tidak sederhana yang bisa dibayangkan. Agar analisis JST dapat memodelkan debit dengan baik, tentunya membutuhkan data yang lebih lengkap (bukan data hujan saja), misalnya data penggunaan lahan, tutupan vegetasi, topografi, serta jenis tanah. Namun, pada kenyataannya data tersebut sulit untuk didapatkan, sehingga analisis hanya terbatas pada pemodelan hujan – debit saja.
4. Selain itu, hubungan (korelasi) antara setiap hujan terhadap debit juga harus cukup baik. Apabila tidak demikian, maka dapat dimaklumi apabila hasil analisis pada akhirnya kurang memuaskan. Faktor lain yang juga diduga bisa memberikan pengaruh adalah jeda waktu atau *time lag*, namun agaknya faktor ini sangat dominan pada basis data harian. Sedangkan pada data bulanan kiranya dapat diabaikan (tidak terlalu besar).
5. Hubungan aspek topografi terhadap curah hujan pada penelitian ini masih bersifat hipotetik dan empiris untuk wilayah DAS yang dikaji, sehingga perlu mendapatkan banyak sekali perbandingan dari DAS lain agar menguatkan argumentasi yang dimiliki.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Harto, Sri. 1990. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hermawan, Arief. 2006. *Jaringan Saraf Tiruan: Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Kusumadewi, Sri. 2003. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasi)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Linsley Jr., Ray K., Max A. Kohler, Joseph L. H. Paulus. 1986. *Hidrologi Untuk Insinyur*. Jakarta: Erlangga.
- Prawati, Eri. 2002. *Studi Evaluasi Kerapatan dan Pola Penyebaran Stasiun Penakar Hujan di DAS Ngrowo dan Sub DAS Widas*. Tesis, Universitas Brawijaya Malang. Tidak Diterbitkan.
- Soemarto, CD. 1999. *Hidrologi Teknik: Edisi ke-2 [Dengan Perbaikan]*. Jakarta: Erlangga.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data [Jilid 1]*. Bandung: NOVA.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data [Jilid 2]*. Bandung: NOVA.
- Wilson, EM. 1974. *Engineering Hydrology*. London: Willian and Basintoke.